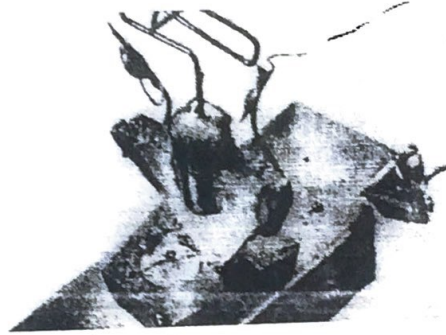
2018-4-21

EE219

د. محمد موسى

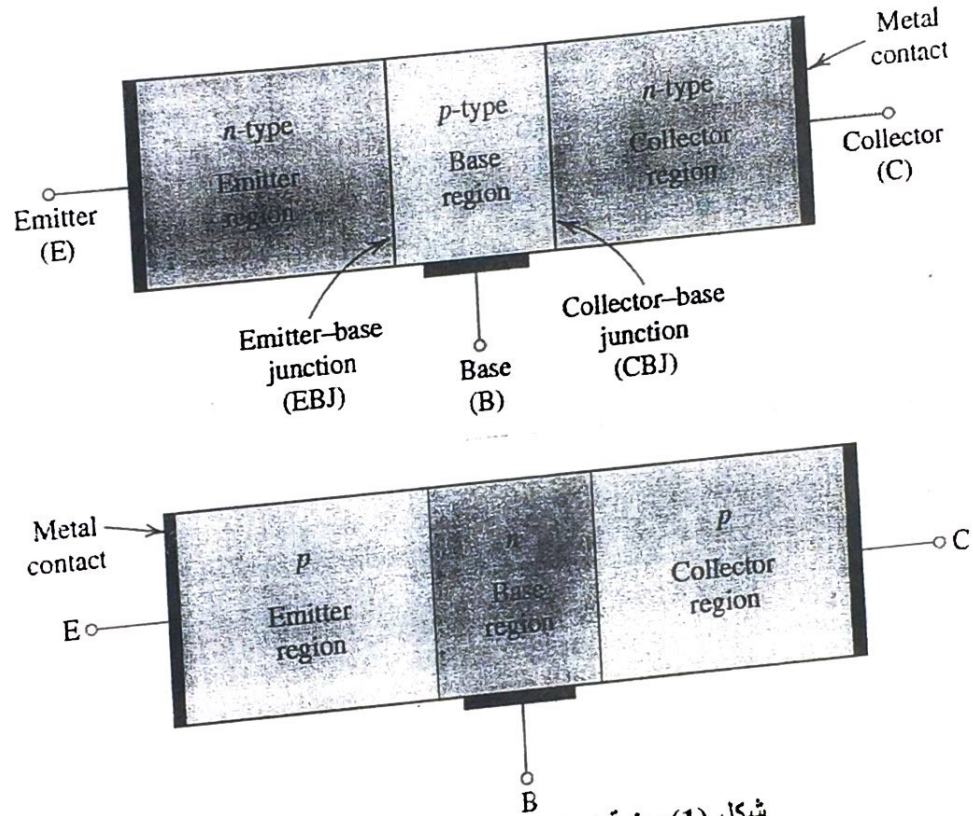
الترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor

BJT

أ. م. محمد على بلحاج

خريف 2013 / 2014

The invention of the BJT in 1948 at the Bell Telephone Laboratories ushered in the era of solid-state circuits, which led to electronics changing the way we work, play, and indeed, live.
The invention of the BJT also eventually led to the dominance of information technology and the emergence of the knowledge-based economy.

<u>بنية او تركيب الترانزستور ثنائي القطبية:</u>

يتكون الترانزستور من ثلاث قطع من اشباه الموصلات كما هو مبين في الشكل(1) حيث يبين الشكل نوعان من الترانزستور ثنائي القطبية هما (سالب – موجب – سالب) و (موجب – سالب – موجب) او (npn) – (pnp).

شكل (1): بنية او تركيب الترانزستور المبسط

القطعتان الخارجيتان تكون من نوع واحد (p او n) بينما تكون القطعة المتوسطة بينهما مختلفة عنهما. وتسمى المناطق او القطع كما يلي:

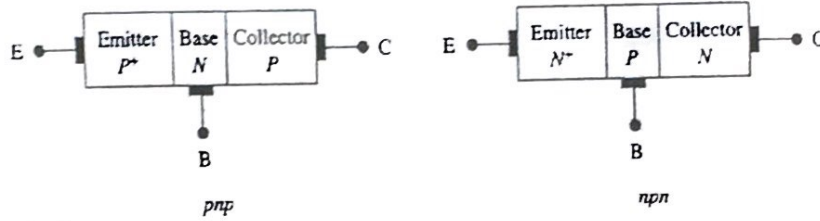
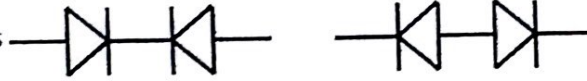
<u>الباعث - (Emitter)</u> : ومنه تنبعث الالكترونات او الثقوب حسب نوع القطعة

<u>القاعدة (Base):</u> منطقة القاعدة الضيقة وهي تتحكم في عدد الالكترونات او الثقوب المنبعثة من الباعث

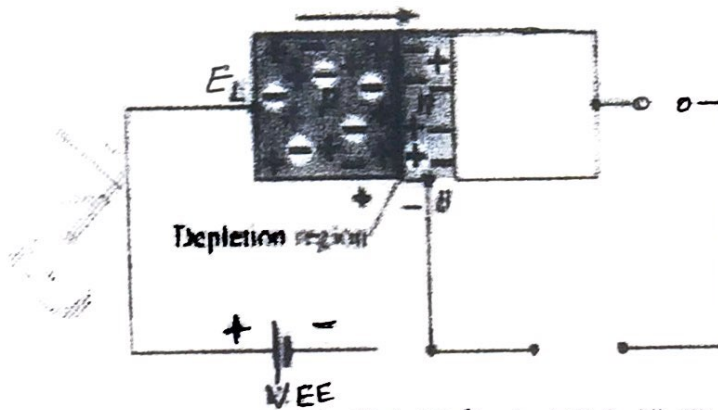
<u>المجمع (Collector):</u> يجمع الالكترونات او الثقوب المنبعثة من الباعث

مستوى التطعيم في الباعث عادة يكون ذا تركيز اعلى من ذلك في كل من القاعدة والمجمع. المنطقتين الخارجيتين اكثر عرضا من المنطقة التي في الوسط وتكون النسبة في العرض بينهما (150:1) اما نسبة الاختلاف في تركيز التطعيم تكون (10:1).

الترانزستور يتكون من وصلتين ثنائيتين – Two pn junctions كما هما في الشكل (2) وهما

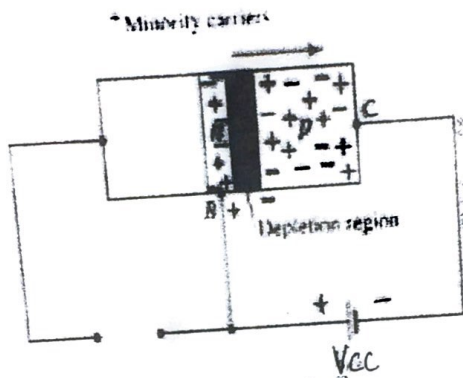
- الوصلة بين الباعث والقاعدة (EBJ)
- الوصلة بين المجمع والقاعدة (CBJ)

شكل (2): وصلات الترانزستور

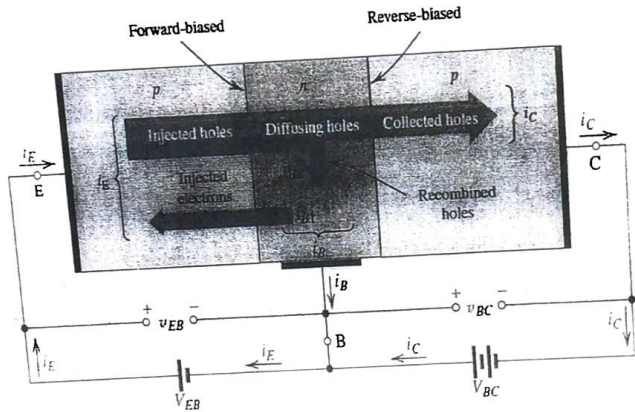
طريقة عمل الترانزستور:-

سنوضح بالشرح طريقة عمل الترانزستور pnp حيث يبين الشكل (3) ان وصلة (الباعث – القاعدة) – (EBJ) في وضع الانحياز الامامي في حين ان وصلة (المجمع – القاعدة) – (CBJ) لم توصل باي جهد خارجي وبالتالي تصبح كانها غير موجودة.

شكل (3): الانحياز الامامي لوصلة (الباعث-القاعدة) في الترانزستور pnp

- حيث ان وصلة (الباعث – القاعدة) في انحياز امامي فان المنطقة الناضبة سوف تتقلص نتيجة لتاثير جهد الانحياز الامامي وينتج عن ذلك سريان كثيف لحاملات الشحنة الاغلبية (الثقوب) من القطعة الموجبة (p) الى القطعة السالبة (n).

- حاملات الشحنة الاغلبية (الثقوب) التي حقنت (أو انتشرت) من القطعة p الى القطعة n سوف تصبح حاملات شحنة اقلية في القطعة n.

الان نقوم بتغيير الوضع السابق حيث نقوم بوضع وصلة (المجمع – القاعدة) (CBJ) في وضع الانحياز العكسي في حين لا نضع اي جهد خارجي على وصلة (الباعث – القاعدة) وذلك كما هو مبين في الشكل (4).

شكل (4): الانحياز العكسي لوصلة (المجمع-القاعدة) في الترانزستور pnp

- في هذه الحالة لا يحدث اي سريان لحاملات الشحنة الاغلبية وانما يحدث سريان لحاملات الشحنة الاقلية من القاعدة الى المجمع.

شكل (5): سريان حاملات الشحنة الاغلبية والاقلية في الترانزستور pnp

الآن نقوم بدمج الوضعين السابقين معا كما هو مبين في الشكل (5) حيث تكون وصلة الباعث – القاعدة) في وضع الانحياز الامامي ووصلة (المجمع – القاعدة) في وضع الانحياز العكسي حيث يوضح الشكل سريان حاملات الشحنة الاغلبية والاقلية.

الشكل (5) كذلك يوضح اي من وصلتي الترانزستور في الانحياز الامامي وايهما في الانحياز العكسي، وفيما يلي شرح لعمليات الانتقال لحاملات الشحنة التي تحدث داخل الترانزستور.

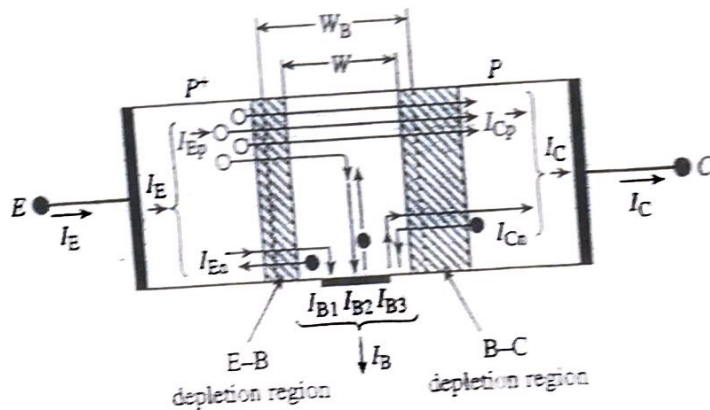
- كميات كبيرة من حاملات الشحنة (الثقوب في هذه الحالة) تنتشر خلال الوصلة الثنائية (p-n) - (الباعث – القاعدة) التي في وضع الانحياز الامامي من القطعة الموجبة (الباعث) الى القطعة السالبة (القاعدة).

- <u>السؤال الذي يطرح نفسه الان في هذه الحالة – هل تلك الحاملات المحقونة تساهم بشكل مباشر في تيار القاعدة (I_B) او تمر الى القطعة الموجبة (p) التي تمثل المجمع؟</u>

- بحيث ان القطعة السالبة (n) – القاعدة التي تقع بين القطعتين الموجبتين (p) ضيقة وذات موصلية منخفضة فان عدد قليل من حاملات الشحنة المحقونة سوف يأخذ هذا المسار ذو المقاومة العالية – وبالتالي فان مقدار تيار القاعدة سيكون في حدود الميكروامبير بالمقارنة مع تياري الباعث والمجمع اللذان يكونان في في حدود الملي امبير.

- عدد كبير من الحاملات الاغلبية سوف ينتشر خلال الوصلة الثنائية التي في الانحياز العكسي الى القطعة (p) التي تمثل المجمع والسبب في ذلك هو ان:
  - حاملات الشحنة الاغلبية المحقونة من الباعث الى القاعدة سوف تصبح حاملات شحنة اقلية في القطعة السالبة (n).
  - وصلة الانحياز العكسي سوف تساهم في عبور حاملات الشحنة الاقلية (الثقوب) خلال الوصلة الى القطعة الموجبة (المجمع).

<u>تيارات الترانزستور:-</u>

نتيجة لسريان حاملات الشحنة في الترانزستور والذي سبق بيانه فان مجموعة من التيارات ستنشاء عن ذلك في كل من الباعث والقاعدة والمجمع كما هو مبين في الشكل (6).

شكل (6): مركبات التيار في الترانزستور

تيار الباعث (I_E) :-

- الانحياز الامامي لوصلة (الباعث – القاعدة) ينشاء عنه سريان تيار الباعث خلال الوصلة ويتكون تيار الباعث من مركبتين هما
  - مركبة تيار الثقوب المحقونة من الباعث الى القاعدة
  - مركبة تيار الالكترونات المحقونة من القاعدة الى الباعث

وكما اشرنا الى ان اختلاف تركيز التطعيم بين الباعث والقاعدة سوف يؤدي الى ان تكون مركبة التيار الناتجة عن حركة الثقوب (من الباعث الى القاعدة) ستكون اكبر بكثير من مركبة تيار الالكترونات المحقونة (من القاعدة الى الباعث).

هاتان المركبتان في مجموعهما يشكلان تيار الباعث (I_E) ويكون اتجاه هذا التيار من الباعث الى القاعدة (الى الداخل). مركبة تيار الثقوب تمثل الجزء الاكبر من من تيار الباعث.

- الثقوب المحقونة من الباعث الى القاعدة سوف تصبح حاملات شحنة اقلية في القطعة السالبة (n).

تيار المجمع (I_C):-

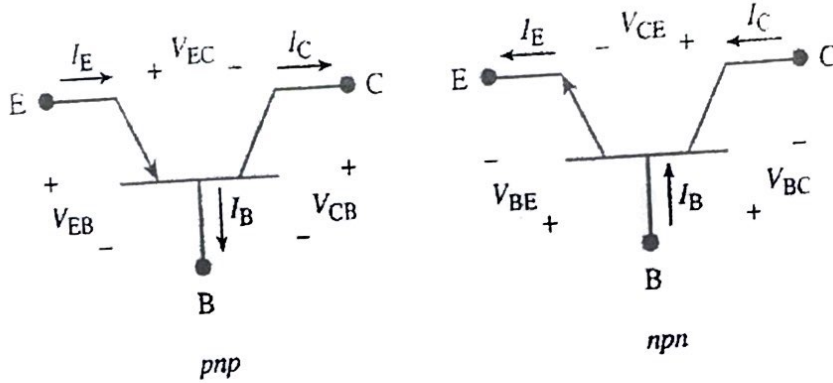
- من خلال مواصفات تصنيع الترانزستور يراعى ان عرض القاعدة صغير بالمقارنة مع كل من الباعث والمجمع وكذلك ان يكون تركيز التطعيم بها منخفض وبالتالي فان عدد الثقوب التي تعيد الاتحاد مع الالكترونات بها سوف يكون قليلا.
- ومن خلال ما سبق فان اغلب الثقوب المحقونة سوف تصل الى حدود وصلة (المجمع – القاعدة) ذات الانحياز العكسي. وحيث ان الجهد على المجمع سالبا فان الثقوب التي نجحت في الوصول الى حدود هذه الوصلة سوف تسحب الى المجمع (اي بمعنى انه تم تجميعها) ومن هنا اتى اسم المجمع وبالتالي ينتج عنها تيار المجمع (I_C) هناك مركبة اخرى ناتجة عن انجراف الالكترونات من المجمع الى القاعدة بسبب الانحياز العكسي لهذه الوصلة وهي صغيرة جدا بالمقارنة مع مركبة التيار الناتجة عن الثقوب.

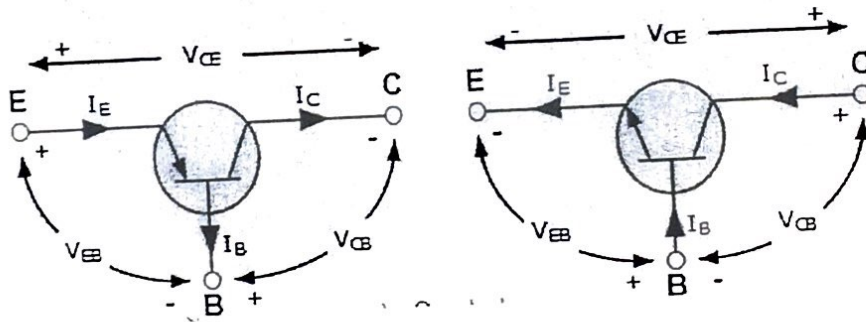
تيار القاعدة (I_B):-

مركبات تيار القاعدة تنتج عما يلي:

- المركبة الاولى (i_{B1}) الناتجة عن حقن الالكترونات من القاعدة الى الباعث
- المركبة الثانية (i_{B2}) الناتجة عن الالكترونات التي تغذي القاعدة من الدائرة الخارجية لتعويض الالكترونات التي اعادت الاتحاد مع الثقوب المحقونة من الباعث
- المركبة الثالثة (i_{B3}) التي تنتج عن انجراف الالكترونات بسبب الانحياز العكسي لوصلة (المجمع – القاعدة)

اذا تم اعتبار الترانزستور كعقدة فان مجموع التيارات الداخلة سوف يساوي مجموع التيارات الخارجة من تلك العقدة حسب قانون كيرشوف للتيار.

الشكل رقم (7) يبين رمز الترانزستور وكيفية توزيع التيارات والجهود على اقطاب الترانزستور الثلاثة.

$$I_E = I_B + I_C$$

$$V_{EB} + V_{BC} + V_{CE} = 0$$

شكل (7): يبين التيارات والجهود على اقطاب الترانزستور

معادلة مركبات تيارات الترانزستور:

$$I_E = I_{Ep} + I_{En}$$

$$I_C = I_{Cp} + I_{Cn}$$

$I_C \sim= I_E$ and ($I_B = I_E - I_C$) is small compared to I_C and I_E

مناطق تشغيل الترانزستور (BJT Modes of Operation):

كما اشرنا في البداية الى ان الترانزستور يتكون من وصلتين ثنائيتين هما وصلة (الباعث – القاعدة) ووصلة (المجمع – القاعدة) واعتمادا على نوع التحيز لكل وصلة (انحياز امامي) او (انحياز عكسي) تتحدد انماط او مناطق التشغيل للترانزستور. ولكل نمط او منطقة تشغيل خصائص تختلف عن الاخرى والجدول التالي يبين مناطق التشغيل الاربع وكيفية الحصول عليها.

MODE	(EBJ)	(CBJ)
القطع ← Cutoff	Reverse	Reverse
النشاط ← Active	Forward	Reverse
Reverse Active	Reverse	Forward
التشبع ← Saturation	Forward	Forward

منطقة النشاط – Active Region: في هذه المنطقة يتم وضع وصلة (الباعث – القاعدة) في انحياز امامي ووصلة (المجمع – القاعدة) تكون في انحياز عكسي – في هذه المنطقة يعمل الترانزستور كمضخم.

منطقة القطع – Cutoff Region: في هذه المنطقة تكون وصلتي الترانزستور في وضع الانحياز العكسي – في المنطقة يعمل الترانزستور كمفتاح (الدوائر المنطقية).

منطقة التشبع – Saturation Region: في هذه المنطقة تكون كلا الوصلتين في انحياز امامي - في المنطقة يعمل الترانزستور كمفتاح (الدوائر المنطقية).

المنطقة الفعالة العكسية – Inverse Active Region: في هذه المنطقة يتم تحييز وصلتي الترانزستور بعكس منطقة النشاط – هذا النوع له تطبيقات محدودة جدا.

سوف نأتي على تفاصيل بعض المناطق لاحقا في سياق هذا المقرر.

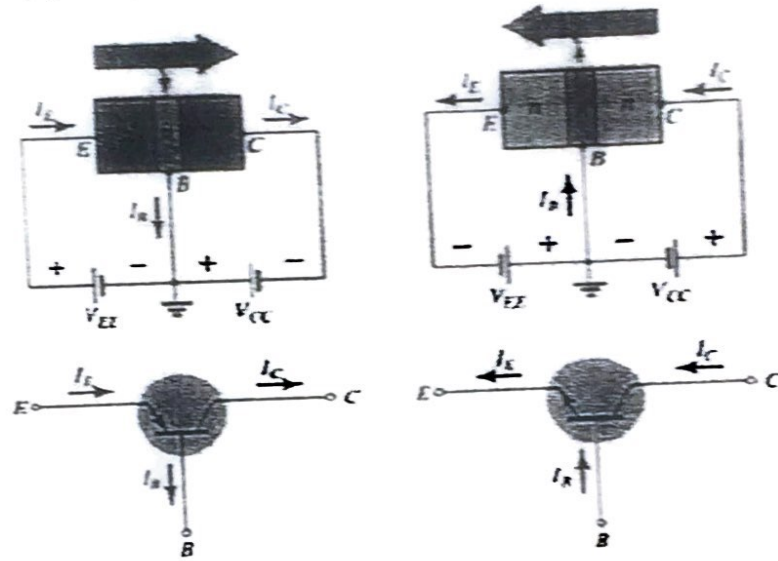
طرق ربط الترانزستور في الدوائر:

حيث ان الترانزستور له ثلاثة اقطاب وبالتالي هناك ثلاث طرق ممكنة لتوصيل الترانزستور في الدوائر الالكترونية حيث تتميز كل طريقة ربط بخصائص تختلف عن الاخرى. طريقة الربط تتمثل في ان يكون احد الاقطاب في وضع مشترك بين دائرتي الدخل والخرج والطرق هي:

- القاعدة المشتركة – (تحقق كسب في الجهد دون كسب في التيار)
- الباعث المشترك – (تحقق كسب في كل من الجهد والتيار)
- المجمع المشترك – (تحقق كسب في التيار دون كسب في التيار)

القاعدة المشتركة – common-base configuration (CB)

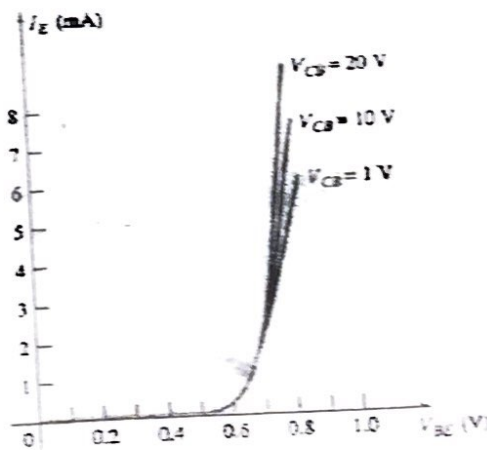
في هذا النوع من التوصيل يتم توصيل القاعدة بحيث تكون مشتركة بين دائرتي الدخل والخرج (من هذا الوضع اتت تسمية القاعدة المشتركة)- جهد القاعدة يكون جهد الارضي او اقرب ما يمكن لجهد الارضي.

في هذه التوصيلة تكون اشارة الدخل بين القاعدة والباعث بينما تكون اشارة الخرج بين القاعدة والمجمع وذلك كما هو مبين في الشكل (7) لنوعي الترانزستور (pnp) و (npn).

شكل (7): توصيلة القاعدة المشتركة لنوعي الترانزستور

من خلال الشكل نلاحظ ان اتجاه التيار في الترانزستور يكون حسب اتجاه السهم على الباعث المبين في رمز الترانزستور

لشرح السلوك الكامل لتوصيلة القاعدة المشتركة – فننا نحتاج الى مجموعتين من الخصائص – احدهما تمثل معاملات دائرة الدخل والاخرى تمثل معاملات دائرة الخرج.

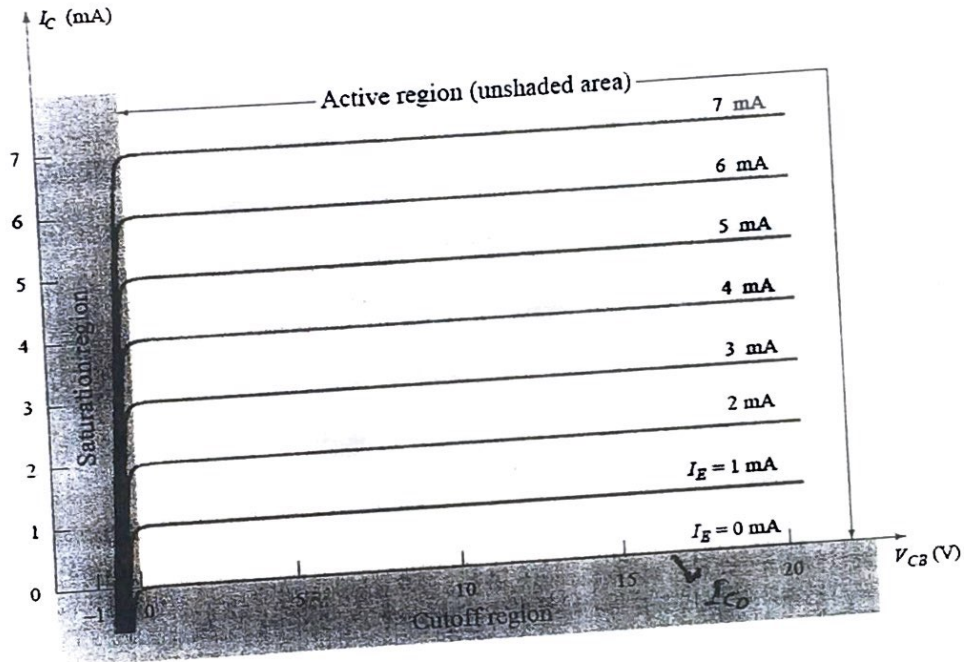
خصائص دائرة الدخل لوصلة القاعدة المشتركة:

مجموعة خصائص دائرة الدخل لتوصيلة القاعدة المشتركة كما هي مبينة في الشكل (8) تبين علاقة الربط بين تيار الدخل (تيار الباعث) – (I_E) وجهد الدخل (V_{BE}) لمستويات مختلفة من جهد الخرج (V_{CB}).

شكل (8): منحنيات خصائص الدخل لتوصيلة القاعدة المشتركة

نلاحظ ان هذه الخصائص معاملين في دائرة الدخل وارتباطها بمعامل في دائرة الخرج ويتم الحصول على هذه المنحنيات عمليا كالاتي:

يتم تحديد قيمة لجهد الخرج على وصلة الترانزستور (V_{CB}) عن طريق التحكم في جهد التحييز العكسي (V_{CC}) ثم نبدأ في تغيير جهد الوصلة الامامية (V_{BE}) عن طريق جهد التحييز الامامي (V_{EE}) وناخذ قراءات مختلفة وما يقابلها من التغير في تيار الباعث (I_E) ثم نرسم المنحنى الاول. نعيد الخطوة السابقة لقيمة اخرى للجهد (V_{CB}) ونكرر نفس الخطوات لكي نرسم المنحنى الثاني. ثم ناخذ قيمة ثالثة ونكرر نفس الخطوات. نتائج الخطوات السابقة مبينة في الشكل (8).

خصائص دائرة الخرج لوصلة القاعدة المشتركة:

مجموعة خصائص دائرة الخرج تربط العلاقة بين تيار الخرج (تيار المجمع) – (I_C) وجهد الخرج (V_{CB}) لمستويات مختلفة لتيار الدخل (تيار الباعث) – (I_E) وذلك كما هي مبينة في الشكل (9).

شكل (9): خصائص الخرج لتوصيلة القاعدة المشتركة

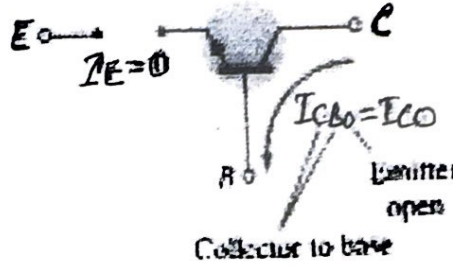
يتم الحصول على هذه العائلة من المنحنيات لدائرة الخرج لتوصيلة القاعدة المشتركة بنفس الطريقة التي تم اتباعها في عائلة المنحنيات لدائرة الدخل – هذه المنحنيات تمثل العلاقة بين تغير الجهد (V_{CB}) وتيار الخرج (I_C) عند قيم ثابتة لقيم تيار الدخل (I_E) في كل مرة.

خصائص دائرة الخرج المبينة في الشكل (9) تتميز بوجود ثلاث مناطق عمل اساسية ومهمة هي:

- منطقة النشاط (Active Region)
- منطقة القطع (Cutoff Region)

- منطقة التشبع (Saturation Region)

في منطقة النشاط تكون وصلة (المجمع – القاعدة) في الانحياز العكسي ووصلة (القاعدة – الباعث) في الانحياز الامامي.

في الجزء السفلي من منطقة النشاط يكون تيار الباعث ($I_E = 0$) في حين يكون تيار المجمع عبارة عن تيار التشبع العكسي (I_{CO}) الناتج عن الانحياز العكسي لوصلة (المجمع – القاعدة) عندما تكون دائرة الدخل مفتوحة كما هو مبين في الشكل (9).

شكل (9): دائرة تحديد تيار التشبع العكسي (I_{CBO})

هذا التيار يكون في حدود الميكروامبير بالمقارنة مع تيار المجمع (I_C) والذي يكون مقداره بالملي امبير وعادة ما يرمز لتيار التشبع العكسي بالرمز ($I_{CO} = I_{CBO}$).

عند القدرات المنخفضة والمتوسطة للترانزستور يمكن اهمال قيمة التيار (I_{CBO}) ولكن في القدرات العالية فان هذا التيار يتأثر بالحرارة وبالتالي فان هذا التيار في درجات الحرارة العالية يصبح عامل مهم جدا ويجب ان يؤخذ في الاعتبار- لإنه وكما عرفنا في حالة الثنائي ان تيار التشبع العكسي يتضاعف مع الزيادة في درجات الحرارة.

من خلال المنحنيات المبينة في الشكل (9) نلاحظ انه كل ما زاد تيار الباعث (I_E) فوق القيمة صفر فان تيار المجمع (I_C) سوف يزداد. كذلك نلاحظ انه في منطقة النشاط ان ازدياد الجهد (V_{CB}) ليس له اي تأثير ملحوظ على تيار المجمع. وبالتالي فانه من خلال المنحنيات والعلاقة بين المعاملات نستطيع استخدام اول تقريب في منطقة النشاط وهو:

$$I_C \cong I_E$$

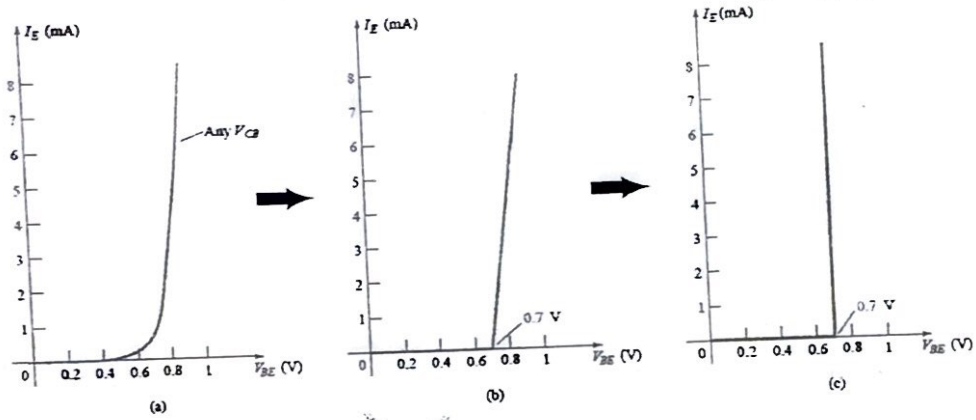
IE=0

منطقة القطع (Cutoff Region): تعرف هذه المنطقة عندما يكون تيار المجمع (I_C) وفي هذه المنطقة تكون وصلتي الترانزستور (الباعث – القاعدة) و(المجمع - القاعدة) في وضع الانحياز العكسي.

منطقة التشبع (Saturation Region): تعرف هذه المنطقة بانها تلك المنطقة في منحنيات دائرة الخرج التي تقع على يسار الجهد (V_{CB}=0).

المحور الافقي كما هومبين في الشكل تم تمديده لكي يبين بوضوح التغير الدراماتيكي الذي يحدث للخصائص في هذه المنطقة – حيث يبين بوضوح الازدياد الاسي لتيار المجمع كلما اقترب الجهد (V_{CB}) نحو الصفر.

في هذه المنطقة تكون وصلتي الترانزستور في الانحياز الامامي.

بالرجوع الى منحنى الخصائص لدائرة الدخل نلاحظ انه للقيم الثابته لجهد المجمع (V_{CB}) وفي كل مرة اذا زاد جهد (القاعدة – الباعث)فان تيار الباعث بشكل يقارب منحنى تيار الثنائي. كذلك وكما هو مبين في منحنى الخصائص نلاحظ ان تأثير جهد الخرج في خصائص الدخل بسيط وبالتالي فاننا نستطيع ان نعتبر التغيرات التي تحدث بفعل هذا يمكن اهمالها ويمكن تمثيل كل المنحنيات بمنحنى واحد كما هو مبين في الشكل (10).

شكل (10): تطوير نموذج مكافئ لخصائص دائرة الدخل

المنحنى الذي في الشكل (a) يمكن تقريبه حتى يصل الى الشكل (c) وهذا يعتبر النموذج المكافيء لوصلة (القاعدة – الباعث) عندما يكون الترانزستور في حالة التوصيل ويتم استخدامه عند تحليل دوائر الترانزستور في حالة الجهد المستمر والذي يساوي:

$$V_{BE} = 0.7\ \text{V}$$

<u>المعامل – Alpha (α):-</u>

مستويات تيارات الترانزستور (I_C) و (I_E) الناتجة عن حاملات الشحنة الاغلبية يتم الربط بينهما عن طريق معامل يعرف بـ (α) ويعرف بالمعادلة التالية:

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

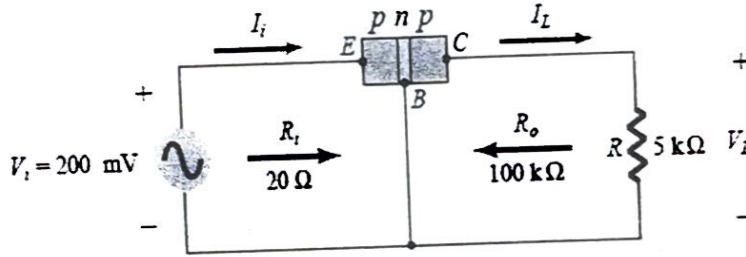
المعامل الفا في الحالة المثالية ($\alpha = 1$) وعمليا فانها تتراوح ما بين القيم ($0.998 \rightarrow 0.9$).

اذا كانت نقطة التشغيل تتحرك على منحنى الخصائص فان (α_{ac}) تعرف بالعلاقة التالية:

$$\alpha_{ac} = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right|_{V_{CB} = \text{constant}}$$

For most situations, the magnitudes of dc alpha and ac alpha are quite close, permitting the use of the magnitude of one for the other.

التضخيم باستخدام الترانزستور:-

في الدائرة المبينة في شكل (11) سوف ندرس عملية التضخيم للجهد المتردد باستخدام الترانزستور بشكل مبدئي في وصلة القاعدة المشتركة – في هذه الدائرة لا يظهر التحييز (مصادر الجهد المستمر غير ظاهرة)

شكل (11): عملية تضخيم الجهد لوصلة القاعدة المشتركة

مقاومة الدخل لتوصيلة القاعدة المشتركة والتي هي في الواقع عبارة المقاومة الديناميكية التي يتم حسابها من خلال خصائص منحنيات الدخل (تماثل منحنيات الانحياز الامامي في الثنائي) هذه المقاومة عادة ما تكون صغيرة القيمة وتتراوح قيمتها بين (10 – 100 اوم). اما مقاومة دائرة الخرج والتي يتم تحديدها من خصائص منحنيات دائرة الخرج وقيمة هذه المقاومة كبيرة وتتراوح قيمتها بين (50 كيلو اوم – 1 ميجا اوم).

الاختلاف بين قيم مقاومتي الدخل والخرج مرتبط بنوع انحياز وصلتي الدخل والخرج للترانزستور حيث تكون وصلة (الباعث – القاعدة) في الانحياز الامامي وهو ما يجعل مقاومة الدخل صغيرة اما الوصلة عند دائرة الخرج (المجمع - القاعدة) تكون في الانحياز العكسي وهو ما يجعل قيمة المقاومة عالية.

ومن خلال الدائرة نقوم بحساب جهد الخرج كما يلي:

$$I_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{200\ \text{mV}}{20\ \Omega} = 10\ \text{mA}$$

If we assume for the moment that $\alpha_{ac} = 1$ ($I_c = I_e$),

$$I_L = I_i = 10 \text{ mA}$$

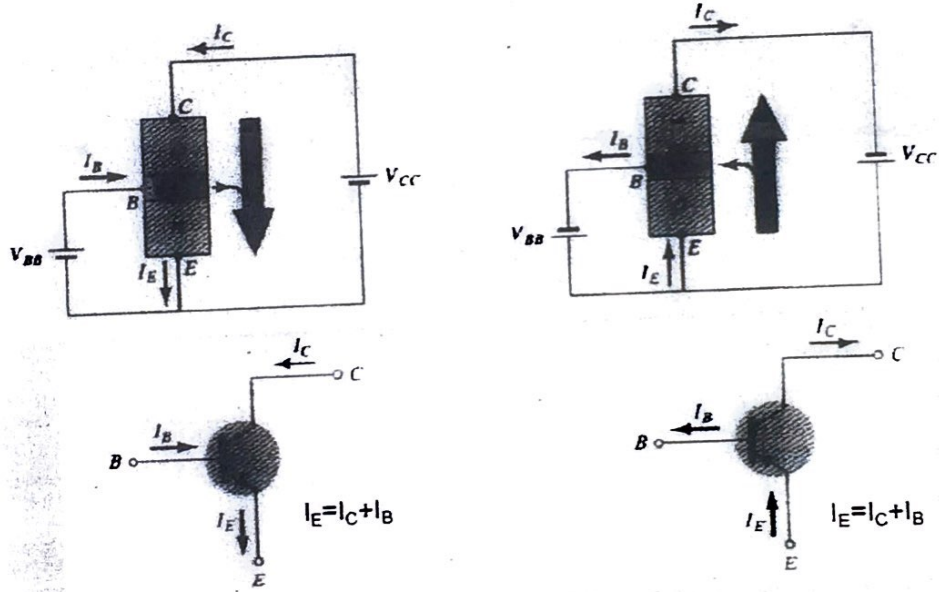
and

$$V_L = I_L R$$
$$= (10 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega)$$
$$= \mathbf{50\ V}$$

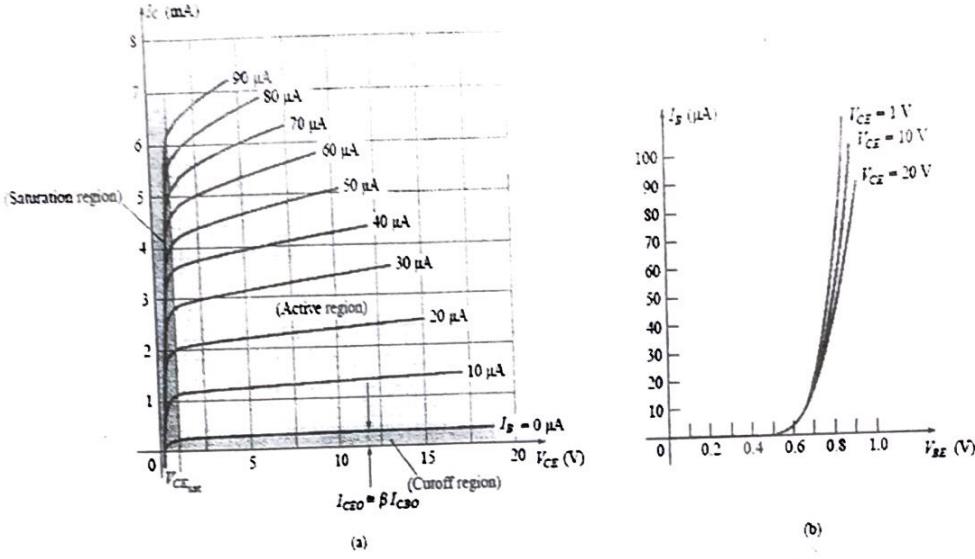
The voltage amplification is

$$A_v = \frac{V_L}{V_i} = \frac{50 \text{ V}}{200 \text{ mV}} = \mathbf{250}$$

Common Emitter Configuration – توصيلة الباعث المشترك

تعتبر وصلة الباعث المشترك المبينة في الشكل (12) من اكثر التوصيلات استخداما. الباعث يكون مشتركا بين دائرتي الدخل والخرج (مشتركا بين القاعدة والمجمع).

شكل (12): توصيلة الباعث المشترك لكلا نوعي الترانزستور

كما تم في توصيلة القاعدة المشتركة فاننا نحتاج الى دراسة منحنيات معاملات دائرة الدخل ومنحنيات معاملات دائرة الخرج لكي نستطيع وصف السلوك الكامل لهذه التوصيلة.

منحنيات دائرة الدخل (القاعدة – الباعث) ومنحنيات دائرة الخرج (المجمع – الباعث) مبينة في الشكل (13).

شكل (12): منحنيات معاملات دائرتي الدخل والخرج لتوصيلة الباعث المشترك

<u>ملاحظة:</u>- التيارات ما زالت لها نفس الاتجاهات التي تم تناولها في توصيلة القاعدة المشتركة بالرغم من تغيير التوصيلة وبالتالي فان نفس العلاقات السابقة ما زالت قائمة:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \alpha I_E$$

يتم الحصول على مجموعات منحنيات خصائص دائرة الدخل ومنحنيات خصائص دائرة الخرج بنفس الطريقة التي تم شرحها في توصيلة القاعدة المشتركة وبالنظر الى الشكل (12) نلاحظ الاتي:

- خصائص دائرة الخرج هي عبارة عن رسم العلاقة بين تغير جهد الخرج (V_{CE}) مع تيار الخرج (I_C) لقيم مختلفة لتيار الدخل (I_B).
- خصائص دائرة الدخل هي عبارة عن رسم العلاقة بين تغير جهد الدخل (V_{BE}) مع تيار الدخل (I_B) لقيم مختلفة لجهد الخرج (V_{CE}).

كما نلاحظ من الشكل ان مقدار تيار القاعدة بالميكروامبير بالمقارنة بمقدار تيار المجمع بالملي امبير. نلاحظ كذلك ان منحنيات التيار (I_B) في خصائص دائرة الخرج ليست افقية كما هو الحال لمحنيات تيار الباعث (I_E) في خصائص دارة الخرج لتوصيلة القاعدة المشتركة – وهذا مؤشر على ان جهد الخرج في توصيلة الباعث المشترك (V_{CE}) يؤثر على قيمة تيار الخرج (I_C).

منطقة النشاط لتوصيلة الباعث المشترك تقع في الجزء الاعلى من منحنيات خصائص الخرج والذي يتميز بان منحنيات تيار القاعدة لها تغير خطي عالي، وهي تلك المنطقة التي تكون فيها منحنيات تيار القاعدة مزاحة عن بعضها بنفس المسافة تقريبا وهذه المنطقة كما هو مبين في الشكل تقع فوق منحنى تيار القاعدة ($I_B = 0$) وعلى يمين جهد التشبع ($V_{CE(sat.)}$).

في هذه التوصيلة توجد ثلاث مناطق لتشغيل الترانزستور فبالاضافة الى منطقة النشاط توجد منطقة وتقع تحت منحنى التيار ($I_B = 0$) ومنطقة التشبع التي تقع على يسار الجهد ($V_{CE(sat.)}$). القطع

في منطقة النشاط تكون وصلة (المجمع – القاعدة) في الانحياز العكسي ووصلة (القاعدة – الباعث) في الانحياز الامامي.

في منطقة القطع لتوصيلة الباعث المشترك وكما هو مبين في شكل خصائص الخرج نلاحظ ان تيار المجمع لا يساوي صفر عندما يكون تيار القاعدة يساوي صفر. وهذا ما لم نلاحظه في توصيلة القاعدة المشتركة حيث لاحظنا ان تيار المجمع يساوي تيار التشبع العكسي (I_{CO}) عندما يكون تيار الباعث يساوي صفر.

هذا الفرق يمكن التعرف عليه وايجاده من خلال حل معادلات تيار الترانزستور التي سبق سردها وذلك كما يلي:

عرفنا تيار المجمع بالمعادلة الاتية

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

وبالتعويض في هذه المعادلة بقيمة تيار الباعث

$$I_E = I_C + I_B$$

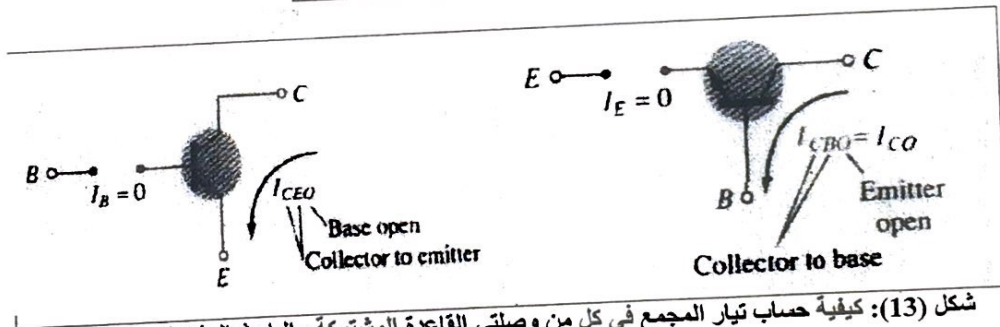
ومنها نحصل على المعادلة التالية:

$$I_C = \alpha(I_C + I_B) + I_{CBO}$$

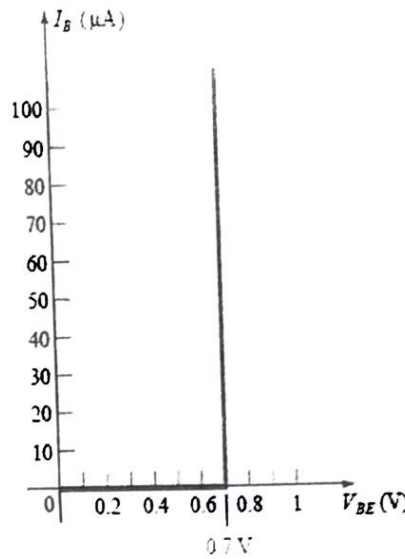
وباعادة ترتيب اطراف المعادلة للحصول على تيار المجمع نحصل على

$$I_C = \frac{\alpha I_B}{1-\alpha} + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha}$$

تيار المجمع يمكن ان يعرف من خلال الحالة التي فيها ($I_B = 0\ \mu A$) حسب المعادلة التالية:

$$I_{CEO} = \left.\frac{I_{CBO}}{1-\alpha}\right|_{I_B = 0\ \mu A}$$

شكل (13): كيفية حساب تيار المجمع في كل من وصلتي القاعدة المشتركة والباعث المشترك عندما تكون دائرة الدخل مفتوحة

وباستخدام نفس المقاربة التي تمت لمنحنيات خصائص دائرة الدخل في حالة توصيلة القاعدة المشتركة فاننا سوف نحصل على نفس التقريب. حيث انه عندما يكون الترانزستور في حالة التوصيل (on – state) او بمعنى اخر في منطقة النشاط فان جهد وصلة (القاعدة – الباعث)

يكون (0.7) فولت. وهذا الجهد يكون ثابتا لاي قيمة يمكن ان ياخذها تيار القاعدة (I_B) كما هو مبين في الشكل (14).

شكل (14): خصائص الدخل لتوصيلة الباعث المشترك

Beta- β – المعامل

مستويات تيارات القاعدة والمجمع ترتبط بالمعامل بيتا (β) من خلال العلاقة التالية:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

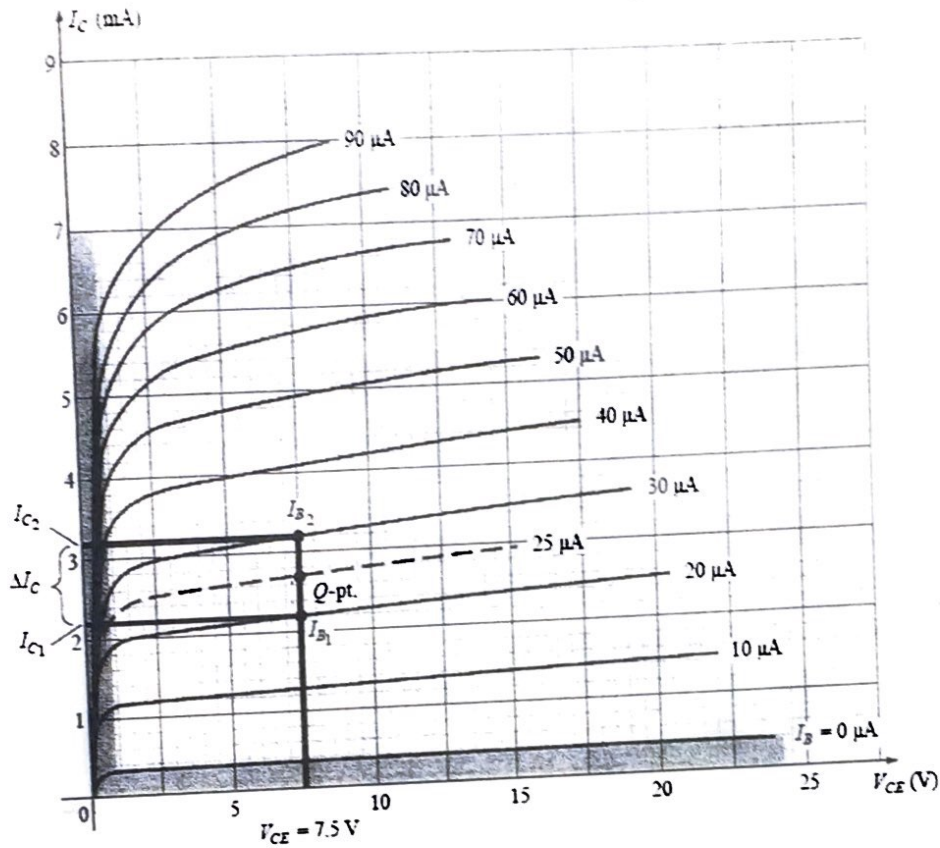
حيث يحدد تيار القاعدة (I_B) وتيار المجمع (I_C) عند نقطة عمل محددة على الخصائص. وعادة ما يكون معامل بيتا كبير ويعرف معامل بيتا عند الجهد المستمر بالصيغة التالية:

المتردد

$$\beta_{ac} = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right|_{V_{CE} = \text{constant}}$$

The formal name for β_{ac} is *common-emitter, forward-current, amplification factor.* Since the collector current is usually the output current for a common-emitter configuration and the base current the input current. the term *amplification* is included in the nomenclature above.

لحساب β_{ac} من منحنيات خصائص الخرج من خلال اختيار نقطتين لتيار القاعدة وعلى بعد متساو من نقطة العمل (Q –Piont) على طول الخط العمودي عند قيمة ثابتة للجهد، كما يراعى ان تكون ΔI_B صغيرة قدر الامكان. عند تقاطع المحور الراسي مع قيم تيار القاعدة يتم رسم خطوط افقية لتحديد التغير في تيار المجمع.

الشكل (15) يبين كيفية حساب المعامل بيتا

شكل (15): كيفية حساب المعامل β

$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\bigg|_{V_{CE} = \text{constant}} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{I_{B_2} - I_{B_1}}$$

$$= \frac{3.2\text{ mA} - 2.2\text{ mA}}{30\ \mu\text{A} - 20\ \mu\text{A}} = \frac{1\text{ mA}}{10\ \mu\text{A}}$$

$$= \mathbf{100}$$

If we determine the dc beta at the Q-point:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.7\text{ mA}}{25\ \mu\text{A}} = \mathbf{108}$$

❀ يمكن ايجاد علاقة ارتباط بين المعاملين α و β باستخدام العلاقات السابقة بين التيارات والمعاملين على النحو التالي:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} \text{ and } \alpha = \frac{I_C}{I_E} \rightarrow I_E = \frac{I_C}{\alpha}$$

بالتعويض في المعادلة

$$I_E = I_C + I_B$$

نحصل على

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta}$$

بتقسيم طرفي المعادلة على (I_C) واعادة ترتيب اطراف المعادلة نحصل على

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

$$\beta = \alpha\beta + \alpha = (\beta + 1)\alpha$$

$$\boxed{\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}}$$

$$\boxed{\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

ومن العلاقة

$$I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha}$$

وباستخدام العلاقة

$$\frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1$$

نحصل على

$$I_{CEO} = (\beta + 1)I_{CBO}$$

$$\boxed{I_{CEO} \cong \beta I_{CBO}}$$

المعامل بيتا β يعتبر معامل مهم جدا لانه يربط بين مستويات التيار في دائرتي الدخل والخرج لتوصيلة الباعث المشترك على النحو التالي:

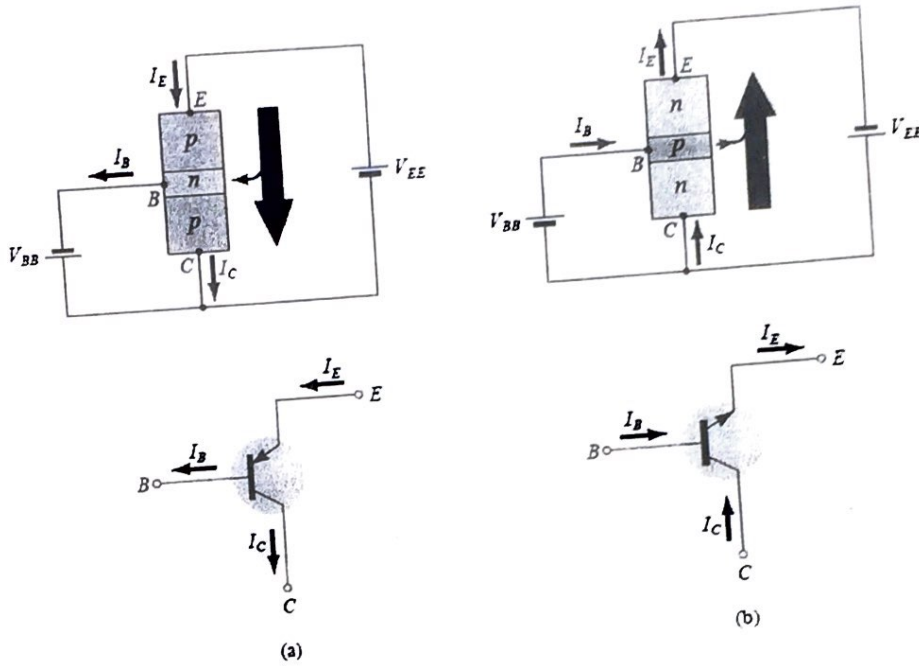
$$\boxed{I_C = \beta I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$= \beta I_B + I_B$$

$$\boxed{I_E = (\beta + 1)I_B}$$

توصيلة المجمع المشترك – Common Collector Configuration:

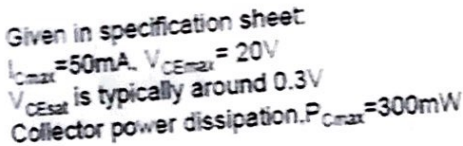
التوصيلة الثالثة والاخيرة هي توصيلة المجمع المشترك المبينة في الشكل (16) وهذه التوصيلة تستخدم لاغراض المطابقة بين المعاوقات – معاوقة الدخل لهذه التوصيلة كبيرة في حين ان معاوقة خرجها صغيرة – وهي على العكس من تلك التي في وصلتي (القاعدة – المشتركة) و (الباعث – المشترك).

شكل (16): وصلة المجمع المشترك

للاغراض العملية تكون منحنيات خصائص دائرة الخرج لتوصيلة المجمع المشترك مشابهة تماما لمنحنيات خواص دائرة الخرج لتوصيلة الباعث المشترك – نرسم المنحنيات من خلال علاقة التغير بين تيار الباعث (I_E) والجهد (V_{CB}) لقيم محددة من تيار القاعدة (I_B). وبالتالي لا يمكن ملاحظة اي تغيير اذا تم استبدال التيار (I_C) بالتيار (I_E) طالما ان قيمة ($\alpha = 1$).

حدود تشغيل الترانزستور – Limits of Operation

توجد لكل ترانزستور منطقة تشغيل على منحنيات خصائص الخرج ويتم تحديدها من خلال القيم القصوى للمعاملات والتي لا ينبغي تجاوزها لسلامة تشغيل الترانزستور ولضمان عدم حدوث تشوه في اشارة الخرج.

حدود القيم القصوى للمعاملات تم تحديدها على منحنيات خواص الخرج للترانزستور كما هو مبين في الشكل (17). حيث نلاحظ ان هناك قيم قصوى ودنيا لكل من الجهد والتيار كذلك نلاحظ منحنى حدود القدرة القصوى في منطقة النشاط.

شكل (12): حدود التشغيل للترانزستور على منحنيات خواص الخرج

V_{CE} is at maximum and I_C is at minimum ($I_{Cmax}= I_{CEO}$) in the cutoff region.	I_C is at maximum and V_{CE} is at minimum ($V_{CE\ max} = V_{CEsat} = V_{CEO}$) in the saturation region.

القدرة القصوى لتوصيلات الترانزستور الثلاثة:

Common-emitter	$P_{C\max} = V_{CE} I_C$
Common-collector	$P_{C\max} = V_{CE} I_E$

حدود المعاملات الدنيا والقصوى لتشغيل الترانزستور في منطقة النشاط:

$$I_{CEO} \leqq I_C \leqq I_{C_{max}}$$

$$V_{CE_{sat}} \leqq V_{CE} \leqq V_{CE_{max}}$$

$$V_{CE} I_C \leqq P_{C_{max}}$$

امثلة محلولة

مثال (1):

اذا كان تيار الباعث للترانزستور يعطى بالقيمة ($I_E = 10$ mA) والمعامل ($\alpha = 0.98$) اوجد كل من تياري المجمع والقاعدة.

الحل:-

The common-base d.c. current gain, $\alpha = \dfrac{I_C}{I_E}$

i.e. $0.98 = \dfrac{I_C}{10}$

$I_C = 0.98 \times 10 = 9.8$ mA

$I_E = I_B + I_C$

$10 = I_B + 9.8$

$I_B = 0.2$ mA

مثال 2:-

لاحد الترانزستور اذا كانت ($\alpha = 0.97$) اوجد قيمة (β) – اذا كانت ($\beta = 200$) اوجد (α).

الحل:-

$$\alpha = 0.97,\ \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.97}{1-0.97} = 32.33$$

$$\beta = 200,\ \alpha = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{200}{200+1} = 0.995$$

مثال (3):-

اذا كانت معاملات الترانزستور ($\beta=100$) وتيار المجمع ($I_c = 40$ mA) اوجد تيار الباعث (I_E).

الحل:-

$\beta = 100$ and $I_C = 40$ mA

$$\beta = 100 = \frac{I_C}{I_B} = \frac{40}{I_B}$$

$I_B = 40/100 = 0.4$ mA and

$I_E = I_B + I_C = (0.4 + 40) \times 10^{-3} = 40.4$ mA

الحل:-

(a) $I_C = \alpha I_E = (0.998)(4\text{ mA}) = \mathbf{3.992\text{ mA}}$

(b) $I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_C = I_E - I_B = 2.8\text{ mA} - 0.02\text{ mA} = \mathbf{2.78\text{ mA}}$

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{2.78\text{ mA}}{2.8\text{ mA}} = \mathbf{0.993}$$

(c) $I_C = \beta I_B = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) I_B = \left(\frac{0.98}{1-0.98}\right)(40\ \mu\text{A}) = 1.96\text{ mA}$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{1.96\text{ mA}}{0.993} = \mathbf{2\text{ mA}}$$

مثال (9):

حدد حدود منطقة التشغيل للترانزستور على منحنيات خصائص الخرج (المبينة في المحاضرة) اذا كانت القيم القصوى للمعاملات هي $I_{Cmax}=7mA$ و $V_{CEmax}=17V$ و $P_{Cmax}=40mW$.

30

الحل:-

$$P_{C_{max}} = 30\text{ mW} = V_{CE} I_C$$

$$I_C = I_{C_{max}},\ V_{CE} = \frac{P_{C_{max}}}{I_{C_{max}}} = \frac{30\text{ mW}}{7\text{ mA}} = 4.29\text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CE_{max}},\ I_C = \frac{P_{C_{max}}}{V_{CE_{max}}} = \frac{30\text{ mW}}{20\text{ V}} = 1.5\text{ mA}$$

$$V_{CE} = 10\text{ V},\ I_C = \frac{P_{C_{max}}}{V_{CE}} = \frac{30\text{ mW}}{10\text{ V}} = 3\text{ mA}$$

$$I_C = 4\text{ mA},\ V_{CE} = \frac{P_{C_{max}}}{I_C} = \frac{30\text{ mW}}{4\text{ mA}} = 7.5\text{ V}$$

$$V_{CE} = 15\text{ V},\ I_C = \frac{P_{C_{max}}}{V_{CE}} = \frac{30\text{ mW}}{15\text{ V}} = 2\text{ mA}$$